Journal of Agroecology
Homepage:https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 15, No. 1, Spring 2023, p. 1-16

Growth and Yield Response of Wheat (Mihan variety) to Future Climate Change in Kerman and Ardebil

Rooholla Moradi [1*] and Mehdi Naghizadeh [2]

Received: 03-07-2021 Revised: 09-10-2021 Accepted: 10-10-2021 Available Online: 10-10-2021	**How to cite this article:** Moradi, R., & Naghizadeh, M. (2023). Growth and yield response of wheat (Mihan variety) to future climate change in Kerman and Ardebil. *Journal of Agroecology 15*(1), 1-16 DOI: 10.22067/agry.2021.70099.1043

Introduction

Global warming has already been occurring in Iran and will probably continue during the 21st century. There has been an increased intensity and frequency of hot daytime temperatures in the last two decades in the country. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) is the most important staple food crop in the country, with a total farming area of nearly 6.33 million ha and a production exceeding 14 million tons in 2017. Wheat production in Iran is an important component of national food security. The crop is grown almost all over the country under varied soil and climatic conditions. Most parts of Iran have an arid and semi-arid climate with long dry summer and winter rainfall, which climate change may negatively affect wheat production sustainability in these vulnerable environments. Wheat is a thermo-sensitive crop, and a change in air temperature may alter the length of its growing period and grain yield. Wheat production mainly depends on the duration of the reproductive period; thus, precise crop phenology estimation is essential for yield prediction under current and future climate conditions. The variety of C-84-8, which is named "Mihan," was introduced from the cross between the domestic variety "Barkat" and the Chinese variety "Zhong87-90" in Karaj for normal irrigation conditions and drought stress after the flowering stage in the cold regions of Iran in 2009. Mihan variety is known as a high yielded potential. The actual yield of this variety in Ardabil province has been reported between 8.13 to 10.31 tons per hectare.

Materials and Methods

The aim of this study was to simulate the climate change effects on the growth period, LAI, and biological and grain yield of wheat (Mihan variety) in the Kerman and Ardebil regions. For this purpose, we employed the HadGEM2-ES model as affected by two RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for two time periods, 2021-2055 and 2056-2090. MarkSIMGCMmodel was used to produce daily climatic parameters as one stochastic growing season for each projection period, and the CERES-wheat model in DSSAT software was used to simulate wheat growth. Calibration and validation of the model in Kerman were performed with two-year experiments designed at the Shahid Bahonar University farm in Kerman, and for the Ardabil region, it performed with the data of the wheat projects of the Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Ardabil province.

Results and Discussion

The results of the model evaluation showed that MarkSIMGCM had an appropriate prediction for simulating climatic parameters and stochastic growing seasons in future climate change conditions. In both studied regions, the RCP8.5 scenario has a higher temperature and radiation increase than the RCP4.5 scenario, and these changes are greater in the long-term period than in the short-term period. Rainfall changes in both investigated regions did not

1- Associate Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Kreman,Iran.
2- Assistance Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
(*- Corresponding author's Email: r.moradi@uk.ac.ir)

show a regular trend. The growing period length was reduced by 0.51% -4.59% as affected by various climate change scenarios and periods. In the near period time (2055), simulating results showed that wheat grain yield would decrease by 3.87% compared to the current condition based on the RCP4.5 scenario. But, the traits will be increased by 0.99%-15.15% according to the RCP8.5 scenario in Kerman and Ardebil based on both scenarios. In the far period time (2090), the grain yield for the Kerman region will respectively decrease by -7.39% and -36% according to both RCP4.5 and RCP8.5 scenarios compared to the current time, and in Ardabil, based on the scenario RCP4.5 will be improved by 20.36%, and it will be declined by -2.89% according to the RCP8.5 scenario. This indicates that the negative impacts of warming will outweigh to the positive effect of CO_2 enrichment over time.

Conclusion

In general, the results confirmed that the Mihan variety would produce acceptable grain yield in the future climate change conditions of Ardabil, but in Kerman, mitigating strategies should be considered to adapt wheat to the adverse impacts of climate change.

Keywords: CO_2, Downscaling, Global warming, Scenario

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱٤۰۲، ص ١٦-١

واکنش رشد و عملکرد رقم گندمِ میهن به اثرات تغییر اقلیم در دو منطقه کرمان و اردبیل

روح اله مرادی[1]* و مهدی نقی‌زاده[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸

چکیده

این مطالعه با هدف شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر دوره رشد، شاخص سطح برگ، عملکرد زیست‌توده و دانه گندم رقم میهن در دو استان کرمان و اردبیل اجرا شد. برای این منظور، مدل گردش عمومی HadGEM2-ES تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دو دوره زمانی ۲۰۵۵-۲۰۲۱ و ۲۰۹۰-۲۰۵۶ به‌کار برده شد. برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی و ایجاد فصل رشد احتمالی برای هر دوره از نرم‌افزار MarkSIMGCM و برای شبیه سازی ر شد گندم از مدل CERES- Wheat در نرم‌افزار DSSAT ا ستفاده گردید. نتایج ارزیابی مدل ن شان داد که MarkSIMGCM دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و شبیه‌سازی فصل رشد احتمالی در شرایط تغییر اقلیم آینده داشت. طول دوره رشد گندم تحت تأثیر تغییر اقلیم در هر دو سناریو برای دوره‌های مورد سنجش و در هر دو منطقه مورد بررسی بین ۰/۵۱ تا ۴/۵۹ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تا سال ۲۰۵۵ عملکرد بر اساس سناریوی RCP4.5 در منطقه کرمان نسبت به شرایط کنونی ۳/۸۷ درصد کاهش خواهد یافت. امّا، طبق سناریوی RCP8.5 در کرمان و هر دو سناریوی یاد شده در اردبیل، عملکرد گندم در آینده بین ۰/۹۹ تا ۱۵/۱۵ درصد افزایش خواهد یافت. در دوره بلندمدت (۲۰۹۰) عملکرد گندم برای منطقه کرمان طبق هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به زمان کنونی کاهشی (به‌ترتیب ۷/۳۹- و ۳۶- درصد) بوده و در اردبیل بر اساس سناریوی RCP4.5 افزایشی (۲۰/۳۶ درصد) و طبق سناریوی RCP8.5 کاهشی (۲/۸۹- درصد) خواهد بود. این نشان می‌دهد، نقش منفیِ افزایش دما با گذشت زمان بیشتر از اثر مثبت افزایش CO۲ خواهد بود. به‌طور کلی، نتایج تأیید نمود که رقم میهن در شرایط آینده اقلیمی اردبیل عملکرد قابل قبولی تولید خواهد نمود، ولی در کرمان باید راهکارهایی جهت سازگاری به این شرایط سنجیده شود.

واژه‌های کلیدی: دی اکسید کربن، ریزمقیاس نمایی، سناریو، گرمایش جهانی

مقدمه

ارزیابی وضعیت آینده تولید غلات و به‌ویژه گندم به‌دلیل اهمیت آن در تغذیه مردم جهان، توجه بسیاری از محققان و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی را به خود معطوف کرده است. برآوردها نشان می‌دهد که در مقیاس جهانی برای تأمین نیاز گندم برای آیندگان، لازم است تولید این محصول نسبت به‌مقدار کنونی افزایش یابد (FAO, 2020) و افزایش تولید در واحد سطح راه اصلی تحقق این هدف می‌باشد. نتایج بررسی انجام شده در مورد وضعیت ۵۰ ساله تولید غلات در ایران (Zare Feyz Abadi et al., 2006) نیز نشان داده است که سطح زیر کشت گندم کشور به‌ویژه در طی ۱۰ سال گذشته رشد اندکی داشته و افزایش تولید این محصول عمدتاً ناشی از افزایش

۱- دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
۲- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: r.moradi@uk.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.70099.1043

عملکرد در واحد سطح بوده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که در ایران نیز مثل ســـایر مناطق جهان، تلاش محققان باید بر ارائه راهکارهایی جهت بهبود عملکرد تمرکز یابد.

در ســال‌های اخیر تغییرات قابل توجهی در دما و بارندگی در بعد جهانی و منطقه‌ای هم از لحاظ مقدار و هم زمان وقوع به‌عنوان تغییر اقلیم شــناخته شــده اســت که به تبع آن اثرات مختلفی بر نهاده‌ها و تولیدات کشاورزی گذا شته ا ست (Luo et al., 2018). علی‌رغم عدم قطعیت‌های موجود در پیش بینی‌های مربوط به تغییرات اقلیمی آینده، وقوع این پـدیـده مورد پـذیرش عمومی محققین در ایران بوده و پیامدهای منفی ناشـــی از آن بر تولیدات زراعی محرز می باشـــد (Moradi et al., 2014). تولید کشاورزی در آینده بسیار متفاوت‌تر از شــرایط گذشــته و کنونی پیش‌بینی می‌شــود و تغییرات آب و هوایی، چالش عمده در این زمینه خواهد بود. تغییر اقلیم می تواند اثر بالقوه‌ای بر روی کشاورزی داشته باشد، به‌عنوان نمونه کاهش طول فصل رشد و تجمع بالای واحدهای گرمایی از مهم‌ترین اثرات تغییر در الگوی دمای هوا و مولفه‌های وابسته به آن محسوب می شود (Sha et al., 2019). از آنجایی که تولید محصــولات زراعی مســتقیماً به شــرایط اقلیمی وابســته اســت، کشــاورزی یکی از اولین بخش‌هایی اســت که تحـت تـأثیر تغییرات اقلیمی قرار می گیرد (Ozkan & Akcaoz, 2002). اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، ولی مدیریت و تغییر در فاکتورهایی چون، آبیاری، خاک، رقم محصول، فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های مورد استفاده در کشت محصولات زراعی، می تواند در کاهش اثرات مضـــر تغییر اقلیم بر رشـــد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی نقش بسزایی داشته باشد (Moradi et al., 2013).

مدل های گردش عمومی (GCM) ابزار مناســـب و در عین حال دقیقی برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده بوده و داده‌های لازم برای اجرای مدل‌های شــبیه‌ســازی رشــد و نمو محصــولات زراعی تحت شرایط تغییر اقلیم را فراهم می‌سازند (Jones et al., 2003). بنابراین، با در اختیار داشتن اطلاعات خروجی از مدل‌های رشد گیاهان زراعی می‌توان فرایندهای مرتبط با تغییر اقلیم را با سـرعت زیاد و هزینه کم پیش‌بینی نمود (De Wit et al., 2008). نتایج شبیه سازی مدل‌های اقلیمی نشـــان می دهد که تغییرات اقلیمی در مناطق با اقلیم های مختلف با یک روند و شــدت مشــابه اتفاق نمی‌افتد (Dastorani & Poormohammadi, 2016). به‌عنوان مثال، میزان افزایش بارندگی و دما در مناطق مختلف ایران توسط باباییان و همکاران (Babaeian et al., 2015) بررسی شد و نتایج این تحقیق نشان داد که تا سال ۲۱۰۰ میلادی، میانگین دما در مناطق سـرد ۳/۳ درجه سـانتی‌گراد و در مناطق گرم ۴/۱ درجه سـانتی‌گراد نسـبت به دمای کنونی افزایش خواهد یافت. نتایج واقفی و همکاران (Vaghefi et al., 2019) نیز نشان داد که بیشترین افزایش دما تا سال ۲۰۵۰ میلادی برای مناطق جنوب شـــرق و کمترین میزان برای مناطق شـــمال غرب کشـــور رخ خواهد داد.

یکی از مشـــکلاتی که تولید گندم در کشـــور را تهدید می کند، تغییرات اقلیمی آینده و مسئله گرمایش جهانی می‌باشد که تحقیقات مختلفی در کشـــور آن را تأیید می کند (Moradi et al., 2013; Laskari et al., 2012, Moradi et al., 2014; Hesam Arefi et al., 2017; Yazdani et al., 2021; Mousavi et al., 2020; Rahimi et al., 2020). مطالعه حسـام عارفی و همکاران (Hesam Arefi et al., 2017) در خصـــوص نقش تغییر اقلیم بر تولید گندم نشـان داد که رشـد، نمو و عملکرد گندم زمسـتانه در ایران به‌شـدت می تواند تحت تأثیر افزایش دما قرار گیرد. عملکرد دانه گندم در آینده در نتیجه تغییرات اقلیمی حدود ۲ تا ۱۹ درصـــد کاهش خواهد یافت. نتایج شبیه سازی ایشان نشان داد که رقم گندم میهن به‌عنوان یک رقم زودرس بیشترین عملکرد را در بین ارقام مورد بررسی در شرایط تغییر اقلیم دارا خواهد بود. نتایج لی و همکاران (Li et al., 2016) در چین نشـــان داد که تأثیر منفی گرمایش جهانی بر عملکرد گندم در مناطق گرم و خشـک بیشـتر از مناطق کوهسـتانی و سـرد می‌باشـد. گزارش شــده اســت که تغییرات درجه روز رشــد گیاه گندم در مناطق کویری مرکز و شرق ایران به‌میزان قابل توجهی بیشتر از مناطق غرب و شمال ایران می‌باشد (Roshan et al., 2014).

لاین C-84-8 با نام "میهن" از دورگ‌گیری بین رقم داخلی برکت و رقم چینی Zhong87–90 در کرج جهت شـــرایط آبیاری معمول و تنش خشکی پس از مرحله گل‌دهی در مناطق سرد ایران در سال زراعی ۱۳۸۹ معرفی شده و از ارقامی است که از پتانسیل عملکرد بالایی برخوردار اســت. عملکردی تولیدی آن در اردبیل بین ۸/۱۳ تن در هکتار (Ghasemi, 2017) تا ۱۰/۳۱ تن در هکتار (Ebadinezhad et al., 2014) گزارش شده است. باوجود اینکه این رقم برای شرایط آبیاری معمول و تنش خشـــکی پس از مرحله گل‌دهی در مناطق سردسیر کشور اصلاح شده است (Aminzadeh et al., 2015)، ولی تحقیقات نشان می‌دهد که کاشت این رقم در مناطق گرم و خشکی

مانند کرمان، عملکرد بالاتری نسبت به ارقام قدیمی و رایج این منطقه مانند ارقام امید و ارگ دارا می‌باشد (Hesam Arefi et al., 2018). نتایج یزدان سپاس و همکاران (Yazdansepas et al., 2011) نشان داد که رقم میهن در مناطق مختلف کشور عملکردی بین ۶۷۷۲ تا ۹۴۲۲ کیلوگرم در هکتار تولید نموده است.

بنابراین، هدف از این تحقیق، بررسی واکنش رقم میهن به‌عنوان یک رقم جدید و پرمحصول به شرایط اقلیمی آینده در دو اقلیم متفاوت گرم و خشک کرمان و سرد و نیمه خشک اردبیل بود.

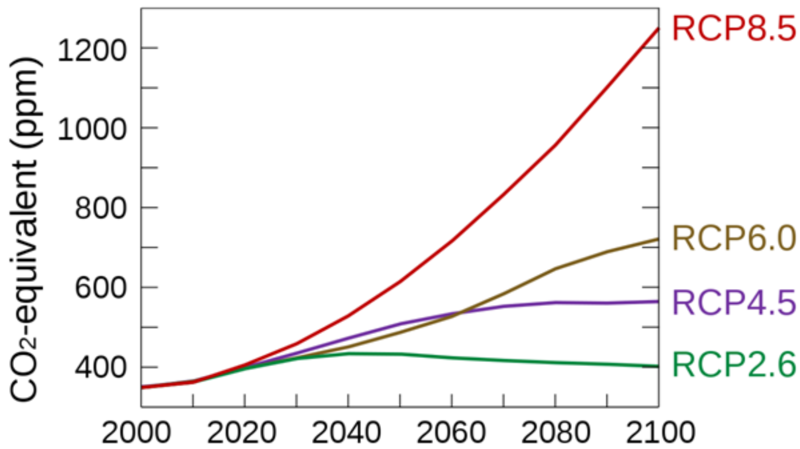
مواد و روش‌ها

مناطق مورد بررسی: این تحقیق در دو منطقه کرمان با اقلیم گرم و خشک و اردبیل با اقلیم سرد و نیمه‌خشک (طبق طبقه بندی آمبرژه) انجام شد. میانگین خصوصیات اقلیمی این مناطق از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۰ در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- میانگین داده‌های اقلیمی برای دوره ۲۰۲۰-۱۹۸٤ در دو منطقه کرمان و اردبیل

Table 1- Mean climate characteristics of the studied area from 1984-2020

شاخص Parameter	مجموع تشعشع خورشیدی Solar radiation (Mj.m^{-2})	بارندگی Precipitation (mm)	میانگین دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	میانگین دمای حداقل Minimum temperature (°C)
کرمان Kerman	6241	132	24.47	7.18
اردبیل Ardebil	4988	303	15.55	4.14



شکل ۱- تغییرات میزان CO_2 تحت تأثیر سناریوهای مختلف AR5 (Meinshausen et al., 2013)

Fig. 1- CO_2 trend based on AR5 scenarios (Meinshausen et al., 2013)

جدول ۲- تغییرات دما بر اساس سناریوهای AR5

Table 2- AR5 global warming increase (°C) projections

Scenario سناریو	2046–2065 ۲۰۴۶-۲۰۶۵	2081–2100 ۲۰۸۱-۲۱۰۰
RCP2.6	1.0 (0.4 to 1.6)	1.0 (0.3 to 1.7)
RCP4.5	1.4 (0.9 to 2.0)	1.8 (1.1 to 2.6)
RCP6	1.3 (0.8 to 1.8)	2.2 (1.4 to 3.1)
RCP8.5	2.0 (1.4 to 2.6)	3.7 (2.6 to 4.8)

مدل اقلیمی و جمع‌آوری اطلاعات: برای شبیه‌سازی اقلیم دوره آینده از نرم‌افزار MarkSIMGCM استفاده شد. نوری و همکاران (Nouri et al., 2017) تأیید نمودند که این نرم‌افزار قابلیت ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومیِ AOGCM را برای اقلیم‌های مختلف ایران دارا می‌باشد. نرم‌افزار مذکور به‌عنوان یک ابزار مبتنی بر وب، با استفاده از مدل تصادفی مرتبه سوم مارکوف داده‌های دمای حداقل و حداکثر، بارش و تشعشع خورشیدی را به مقیاس روزانه ریزگردانی می‌کند (Fouial et al., 2016). این مدل دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ را به‌عنوان دوره مبنا برای ریزمقیاس نمایی در نظر می‌گیرد که بر اساس ۱۷ مدل از سری مدل‌های CMIP5 بر اساس گزارش پنجم (AR5) سازمان بین‌الدول تغییر اقلیم تحت عنوان چهار سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 اقدام به شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۵ میلادی می‌کند که جزئیات این ۱۷ مدل به‌طور دقیق در این منبع ذکر شده است (Anonymous, 2020). تغییرات CO_2 و دمایی بر اساس چهار سناریوی مذکور نیز به‌ترتیب در شکل ۱ و جدول ۲ قابل مشاهده است. این پایگاه داده از آنجایی که مبتنی بر وب است، برای کلیه نقاط کره زمین به‌راحتی و به‌صورت رایگان قابل دسترس است. آدرس اینترنتی این نرم‌افزار در این منبع قابل مشاهده می باشد (http://gismap.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM) که بر مبنای استفاده در نرم‌افزار DSSAT پایه ریزی شده است.

در این مطالعه، داده های دوره اقلیمی ۲۰۱۹-۱۹۸۴ به‌عنوان داده‌های مبنا از ایستگاه هوا شناسی کرمان (با طول جغرافیایی °۳۰ و '۱۵ و عرض °۵۶ و '۵۸) و اردبیل (با طول جغرافیایی °۳۸ و '۱۳و عرض °۴۸ و '۱۹) دریافت شد. از بین سناریوهای مذکور دو سناریوی RCP4.5 به‌عنوان سناریوی خوشبینانه و سناریوی RCP8.5 به‌عنوان سناریوی بدبینانه برای دو دوره ۲۰۵۵-۲۰۲۱ به‌عنوان آینده نزدیک و ۲۰۹۰-۲۰۵۶ به‌عنوان آینده دور در نظر گرفته شد. قبل از پیش‌بینی شرایط آینده، دقت مدل برای ۱۷ مدل موجود در نرم‌افزار MarkSIMGCM سنجش شد که از بین این مدل ها، مدل HadGEM2-ES بیشترین دقت را برای این مناطق دارا بود و برای شبیه سازی شرایط آبنده از آن استفاده شد. دقت خروجی‌های مدل HadGEM2-ES با استفاده از آزمون میانگین مربعات ریشه (RMSE) برای ایستگاه‌های مورد نظر اعتبار سنجی شد.

مدل گیاهی مورد استفاده: به‌منظور شبیه‌سازی پارامترهای مختلف رشد گندم، مدل سیستم گیاهی گندم (CSM-CERES-Wheat) توسط نرم‌افزار DSSAT مورد استفاده قرار گرفت. در این مدل، ارقام مختلف گیاهان زراعی دارای واکنش های متفاوتی به تغییر در فاکتورهای محیطی هستند و بر اساس ضرایب ژنتیکی که به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل می‌باشد، تنظیم می‌شود (Jones et al., 2003). برای اعمال تأثیر افزایش تغییرات دی اکسید کربن در آینده بر رشد و نمو گندم، از مقادیر گزارش شده دی اکسید کربن در سناریوهای ذکر شده بر اساس جدول ۲ استفاده شد.

واسنجی و ارزیابی مدل: به‌منظور واسنجی مدل باید ضرایب ژنتیکی رقم مورد استفاده در مدل تنظیم و تعیین گردند. ضرایب ژنتیکی رقم میهن قبلاً توسط حسام عارفی و همکاران (Hesam Arefi et al., 2017) تعیین شده که در جدول ۳ ارائه شده است. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در کرمان از دو آزمایش دو ساله طراحی شده در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان و برای منطقه اردبیل از نتایج طرح‌های گندم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (Ebadinezhad et al., 2014; Ghasemi, 2017) استفاده شد. شاخص‌های عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، حداکثر شاخص سطح برگ و طول دوره رشد گندم بدین منظور مدنظر قرار گرفت.

جهت ارزیابی مدل از پارامترهای جذر میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE)، ضریب جرم باقی مانده (CRM) و ضریب تبیین (R^2) بر اساس معادلات زیر استفاده شد (Shrestha et al., 2016):

$$nRMSE = \frac{100}{\bar{O}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \qquad (۱)$$

$$CRM = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} O_i} \qquad (۲)$$

که در این معادلات، P_i: مقادیر پیش بینی شده، O_i: مقادیر اندازه گیری شده، n: تعداد مشاهدات و $\bar{O}$: میانگین داده های اندازه‌گیری شده می‌باشند. هرچه مقادیر nRMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل مورد استفاده می‌باشد، به‌طور کلی nRMSE کمتر از ۱۰ درصد عالی، nRMSE بین ۲۰-۱۰ خوب و nRMSE بالاتر از ۳۰ ضعیف می باشد. مقادیر منفی CRM نشان‌دهنده این مطلب است که مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل بیشتر از مقادیر واقعی است و CRM با علامت مثبت نشانه مقدار کمتر پارامتر شبیه‌سازی شده از مقدار واقعی یا مشاهده شده‌است.

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی رقم گندم میهن مورد استفاده در مدل گیاهی CERES-Wheat

Table 3- Cultivar coefficients used with the CSM-CERES-Wheat model

PHINT	G3	G2	G1	P5	P1D	P1V
66	1.2	38	18	600	51	3

P1V: تأخیر نسبی در سرعت نمو برای هر روز بهاره‌سازی انجام نشده، P1D: مقدار نسبی کاهش سرعت نمو برای فتوپریود کوتاه‌تر از حالت مطلوب (۱۰ ساعت)، P5: طول دوره خطی پر شدن دانه بر حسب درجه روز، G1: تعداد دانه در هر واحد وزن جامعه گیاهی در واحد سطح در گرده‌افشانی بر حسب تعداد، G2: سرعت بالقوه رشد دانه بر حسب میلی‌گرم در روز، G3: وزن خشک ساقه در شرایط مطلوب رشد، هنگامی که رشد ساقه متوقف می‌شود، شامل پهنک و غلاف و برگ به‌علاوه خوشه بر حسب گرم، PHINT: زمان حرارتی لازم بین ظهور نوک دو برگ متوالی (فیلوکرون) برحسب درجه روز

P1V: Days at optimum vernalizing temperature required to complete vernalization, P1D: Percentage reduction in development rate in a photoperiod 10 h shorter than the threshold relative to that at the threshold, P5: Grain filling (excluding lag) phase duration(°Cd^{-1}), G1: Kernel number per unit canopy weight at anthesis,G2: Standard kernel size under optimum conditions (mg), G3: Standard, non-stressed dry weight (total, including grain) of a single tiller at maturity (g), PHINT: Interval between successive leaf tip appearances (°C d^{-1}).

نتایج و بحث

اعتبارسنجی مدل اقلیمی: نتایج شبیه سازی نشان داد که مدل HadGEM2-ES دقت قابل قبولی در پیش‌بینی خصوصیات اقلیمی مناطق مورد بررسی دارا بود (جدول ۴). ضریب تبیین برای کلیه پارامترهای اقلیمی بالاتر از ۰/۷۴ بود. در بین پارامترهای اقلیمی مورد ارزیابی، میزان تشعشع با دقت بیشتری (nRMSE = ۳/۷۵٪) نسبت به دیگر پارامترها شبیه‌سازی شد. با این وجود، دقت مدل در دیگر پارامترها نیز قابل قبول بود به‌طوری‌که میزان nRMSE به‌استثنای بارندگی که ۱۱/۰۸ درصد بود، در بقیه آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد بود.

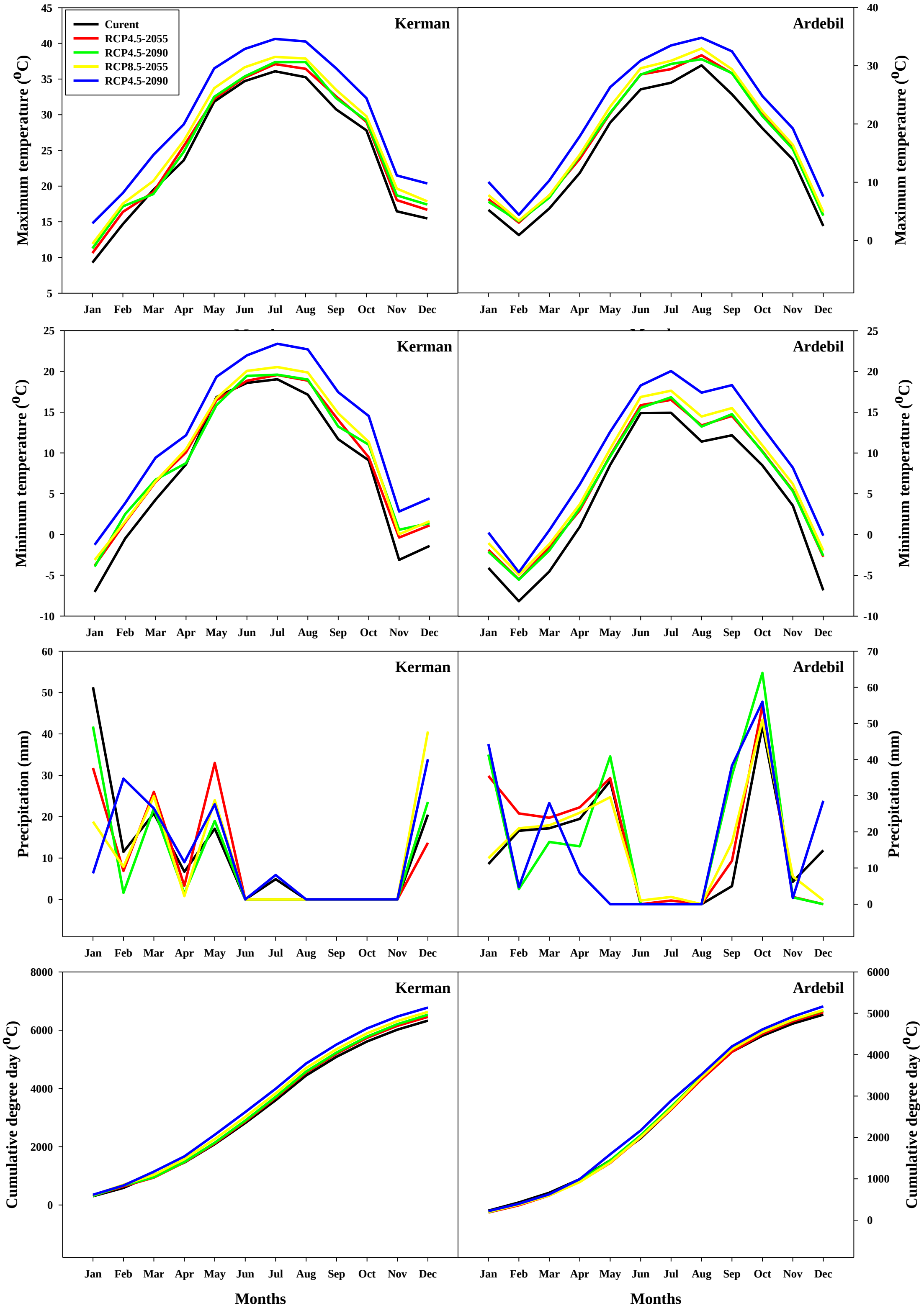
بنابراین، نتایج نشان داد که مدل HadGEM2-ES توسط نرم‌افزار MarkSim تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 قابلیت خوبی در شبیه سازی پارامترهای اقلیمی برای هر دو منطقه اردبیل و کرمان دارا بود. دقت این مدل قبلاً در مطالعات دیگر نیز به اثبات رسیده است (Fouial et al., 2016; Mathukumalli et al., 2016; Nouri et al., 2016; Shirsath et al., 2017). به‌طور کلی، نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل HadGEM2-ES قابلیت خوبی در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی (بارندگی، دمای ماکزیمم و مینیمم) دا شته و می‌توان از داده‌های خروجی آن برای شبیه‌سازی فصل رشد احتمالی در شرایط آینده تغییر اقلیم و مطالعات مربوط به تأثیر این عوامل اقلیمی بر رشد و نمو گیاهان زراعی استفاده کرد.

جدول ٤- مقایسه دقت مدل HadGEM2-ES در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی

Table 4- Comparison of simulated and observed climatic parameters simulated by HadGEM2-ES

شاخص **Parameter**	دمای حداقل **Minimum temperature (°C)**	دمای حداکثر **Maximum temperature (°C)**	بارندگی **Precipitation (mm)**	تشعشع خورشیدی **Solar radiation ($MJ.m^{-2}$)**
nRMSE (%)	6.28	8.18	11.08	3.75
R^2	0.87	0.83	0.74	0.94

تأثیر تغییراقلیم بر پارامترهای اقلیمی مورد بررسی: روند تغییرات دمای حداکثر، دمای حداقل، بارندگی و تشعشع خورشیدی بر اساس دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دوره کوتاه‌مدت (۲۰۵۵ میلادی) و بلندمدت (۲۰۹۰ میلادی) در شکل ۲ نشان داده شده است. در هر دو منطقه مورد بررسی، سناریوی RCP8.5 افزایش دما و تشعشع بیشتری نسبت به سناریوی RCP4.5 دارا می‌باشد و این تغییرات در دوره بلندمدت بیشتر از دوره کوتاه‌مدت می‌باشد. تغییرات بارندگی در هر دو منطقه مورد بررسی روند منظمی را نشان نداد (شکل ۲). این موضوع وابسته به ماهیت هرکدام از سناریوها دارد. در تحقیقات دیگر نیز این موضوع تصدیق شده است.



شکل ۲- تغییرات پارامترهای اقلیمی بر اساس سناریوها و دوره‌های مورد بررسی در کرمان و اردبیل

Fig. 2- The trend of climate parameters based on various scenarios and periods in Kerman and Ardebil

به‌عنوان مثال، حسام عارفی و همکاران (Hesam Arefi et al., 2017) نیز تغییرات بارندگی برای کرمان را بر اساس دو مدل گردش عمومی HADCM3 و IPCM4 تحت سه سناریوی A1B، B1 و A2 در سه دوره زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در فصول مختلف سال نامنظم گزارش نمودند. این شرایط برای مطالعه آداوی و همکاران (Adavi et al., 2018) در منطقه اصفهان نیز صادق بود.

تعیین اعتبار مدل گیاهی: نتایج ارزیابی مدل CERES-Wheat نشان داد که در هر دو منطقه مورد مطالعه، این مدل رشد برآورد مناسبی برای پیش‌بینی صفات حداکثر شاخص سطح برگ، طول دوره رشد، زیست‌توده و عملکرد دانه دارد (جدول ۵). در هر دو منطقه میزان عملکرد دانه با دقت بهتری نسبت به دیگر شاخص‌ها توسط مدل شبیه سازی شد. تحقیقات دیگر نیز نشان داده اند که به‌طور معمول مدل‌های شبیه سازی صفات عملکردی را با دقت بیشتری نسبت به دوره رشد شبیه‌سازی می‌کنند (Hesam Arefi et al., 2017; Moradi et al., 2014; Li et al., 2016). میزان ضریب تبیین در کلیه صفات بالاتر از ۰/۸۱ بود که بیشترین مقدار آن (۰/۹۴) برای شبیه‌سازی عملکرد دانه در اردبیل مشاهده شد. بررسی شاخص CRM نیز نشان داد که در کرمان، بها ستثنای طول دوره رشد، باقی صفات کمتر از میزان واقعی و در استان اردبیل، به‌استثنای عملکرد بیولوژیک، دیگر صفات بیشتر از میزان واقعی شبیه‌سازی شدند. بنابراین، مدل CERES-Wheat پتانسیل مناسبی برای استفاده در این تحقیق را دارا بود.

جدول ۵- مقایسه میزان مشاهده شده و برازش داده شده صفات مورد بررسی در گندم به‌وسیله nRMSE، CRM و ضریب تبیین

Table 5- Comparison of some simulated and observed traits by normalized (nRMSE), (CRM), and R^2 values

منطقه Region	پارامتر Parameters	nRMSE	CRM	R^2
کرمان Kerman	عملکرد دانه Grain yield	3.23	0.051	0.89
	عملکرد بیولوژیک Biological yield	4.63	0.022	0.93
	طول دوره رشد Growth period length	6.18	-0.029	0.81
	حداکثر شاخص سطح برگ Maximum leaf area index	3.69	0.009	0.88
اردبیل Ardebil	عملکرد دانه Grain yield	2.37	-0.014	0.94
	عملکرد بیولوژیک Biological yield	5.14	0.044	0.90
	طول دوره رشد Growth period length	6.32	-0.019	0.85
	حداکثر شاخص سطح برگ Maximum leaf area index	4.54	-0.041	0.89

تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و تولید گندم

عملکرد دانه: میزان عملکرد دانه رقم گندم میهن در شرایط کنونی در استان اردبیل (۸۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) به‌طور قابل توجهی بیشتر از کرمان (۶۲۷۵) بود (جدول ۶). از آنجا که هر دو آزمایش در شرایط عدم کمبود آب و مواد غذایی انجام شده بود، به نظر می‌رسد باتوجه به اینکه رقم میهن برای مناطق سرد سیر اصلاح شده است (Aminzadeh et al., 2015)، پتانسیل بالاتر عملکرد آن در منطقه اردبیل نسبت به کرمان قابل قبول باشد. نتایج شبیه سازی این صفت برای دوره کوتاه‌مدت (۲۰۵۵ میلادی) نشان داد که در منطقه اردبیل در این دوره نه تنها عملکرد نسبت به شرایط کنونی کاهش پیدا نمی کند، بلکه افزایش نیز خواهد یافت (جدول ۶). میزان این افزایش بر اساس سناریوی RCP4.5 حدود یک درصد و بر اساس سناریوی RCP8.5 حدود ۱۵ درصد نسبت به شرایط کنونی خواهد بود (شکل ۳). در کرمان نیز بر اساس سناریوی RCP4.5 میزان عملکرد دانه نسبت به شرایط کنونی ۳/۸۷ درصد کاهش خواهد یافت، امّا طبق سناریوی RCP8.5 به‌میزان ۳/۶۲ درصد افزایش نشان خواهد داد

(شکل ۳).

جدول ٦- تأثیر تغییرات اقلیمی شبیه‌سازی شده تحت تأثیر سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های مختلف مورد بررسی بر تعدادی از صفات گندم

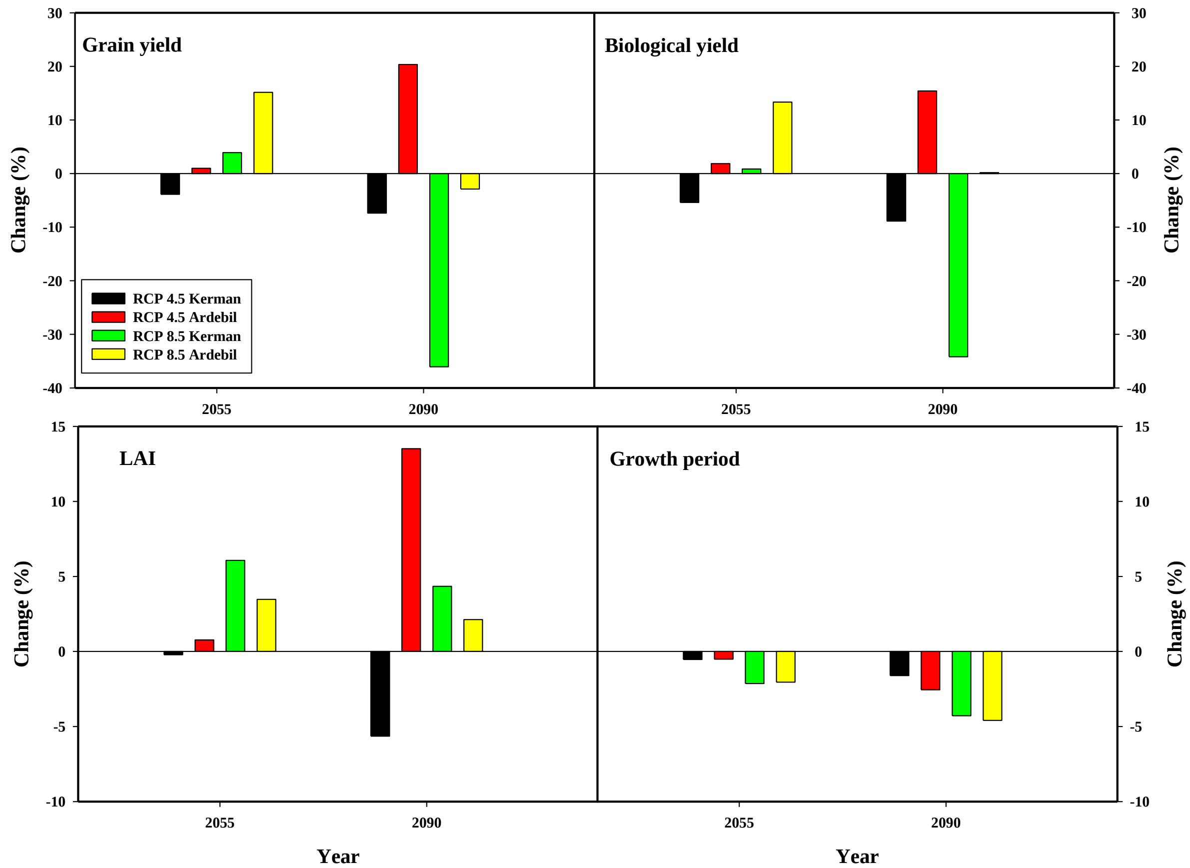
Table 6- Effect of climate change on some wheat characteristics based on RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in the 2055 and 2090 periods

صفت Trait	دوره کنونی Current		۲۰۵۵ 2055				۲۰۹۰ 2090			
	کرمان Kerman	اردبیل Ardebil	کرمان Kerman		اردبیل Ardebil		کرمان Kerman		اردبیل Ardebil	
			RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	6275	8130	6032	6521	8211	9362	5811	4012	9785	7895
عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	13082	15009	12375	13194	15289	17011	11922	8611	17321	15036
شاخص سطح برگ LAI	4.61	5.18	4.6	4.89	5.22	5.36	4.35	4.81	5.88	5.29
طول دوره رشد Growth period length (day)	187	196	186	183	195	192	184	179	191	187

نتایج شبیه‌سازی برای دوره بلندمدتِ ۲۰۹۰ میلادی نیز نشان می‌دهد که عملکرد رقم میهن در شرایط کشت در کرمان در هر دو سناریوی مورد بررسی (۵۸۱۱ و ۴۰۱۲ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5) کمتر از شرایط کنونی خواهد بود (جدول ۶). به‌طوری که، میزان آن در سناریو های RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب ۷/۳۹ و ۳۶/۰۶ درصد نسبت به عملکرد در شرایط کنونی کاهش خواهد یافت (شکل ۳). در استان اردبیل ولی روند متفاوتی پیش‌بینی شد، به‌طوری‌که عملکرد دانه این رقم در سناریوی RCP4.5 (۹۷۸۵ کیلوگرم در هکتار) نسبت به شرایط کنونی به‌میزان ۲۰/۳۶ درصد افزایش و بر اساس سناریوی RCP8.5 (۷۸۹۵ کیلوگرم در هکتار) ۲/۸۹ درصد کاهش خواهد یافت.

نتایج شبیه سازی نشان داد که رشد و تولید رقم پرمحصول میهن تحت تأثیر اثرات افزایش دما و غلظت CO_2 بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 قرار خواهد گرفت. در دوره کوتاه مدت ۲۰۵۵ میلادی تنها عملکرد بر اساس سناریوی RCP4.5 در منطقه کرمان نسبت به شرایط کنونی کاهش خواهد یافت (جدول ۶). در صورتی‌که، طبق سناریوی RCP8.5 در کرمان و هر دو سناریوی یاد شده در اردبیل افزایش عملکرد در آینده نسبت به حال حاضر اتفاق خواهد افتاد. در دوره بلند مدت ۲۰۹۰ میلادی عملکرد گندم برای منطقه کرمان طبق هر دو سناریوی مورد استفاده نسبت به زمان کنونی کاهشی بوده و در اردبیل بر اساس سناریوی RCP4.5 افزایشی و طبق سناریوی RCP8.5 کاهشی خواهد بود (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۱ و جدول ۲ مشاهده می شود، میزان افزایش دما و CO_2 بر اساس سناریوی RCP8.5 بیشتر از سناریوی RCP4.5 می‌باشد. به نظر می‌رسد در کوتاه‌مدت، اثر مثبت افزایش غلظت CO_2 بیشتر از اثر منفی افزایش دما خواهد بود که این موضوع برای سناریوی RCP8.5 که افزایش CO_2 به مراتب بالاتری نسبت به سناریوی RCP4.5 دارد، بیشتر تأثیرگذار خواهد بود. امّا در درازمدت، افزایش زیادتر دما نه تنها نقش مثبت افزایش غلظت CO_2 را خنثی نموده (Moradi et al., 2014)، بلکه تأثیر اثرات منفی افزایش دما بر عملکرد گندم در هر دو منطقه قابل توجه می‌باشد. از طرف دیگر، چون دمای منطقه اردبیل در شرایط کنونی پایینتر از کرمان می‌باشد، به نظر می‌رسد افزایش احتمالی دما در این منطقه سرد سیر اثر منفی کمتری نسبت به منطقه گرم و خشک کرمان بر عملکرد دانه رقم میهن خواهد داشت. تأکید شده است که دما مهم‌ترین عامل مؤثر بر میزان عملکرد گندم در مناطق مختلف می‌باشد (Hesam Arefi et al., 2018). به‌طوری‌که، یک رابطه منفی بین دماهای بالا در مرحله زایشی گندم و تعداد دانه در سنبله تأیید شده است (Barnabás et al., 2008) که تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نهایی دانه دارد. از طرف دیگر، زمان و سرعت پر شدن دانه یکی از کلیدی‌ترین فاکتورهای تعیین عملکرد نهایی دانه بوده که به شدت تحت تأثیر دما می باشد. به‌دلیل تأثیر منفی تنش دمایی بر میزان فتو سنتز گیاه، عملکرد دانه گندم به شدت حساس به

دماهای بالا در زمان ر شد زایشی می‌با شد (Eyshi Rezaei et al., 2015).



شکل ۳- میزان تغییر در صفات گندم تحت تأثیر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در سال‌های ۲۰۵۵ و ۲۰۹۰ میلادی در دو منطقه کرمان و اردبیل

Fig. 3- Change value of wheat traits as affected by RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in 2055 and 2090 years in the Kerman and Ardebil regions

عملکرد بیولوژیک: میزان شبیه‌سازی شده این شاخص در دوره کوتاه‌مدت نسبت به شرایط کنونی، برای منطقه کرمان بر اساس سناریوی RCP4.5 کاهش ۵/۴ درصدی و بر اساس سناریوی RCP8.5 افزایش ۰/۸۶ درصدی را نشان داد (جدول ۶ و شکل ۳). در منطقه اردبیل میزان عملکرد بیولوژیک رقم میهن در هر دو سناریو در دوره ۲۰۵۵ نسبت به شرایط حال حاضر افزایش ۱/۸۶ و ۱۳/۳۳ درصدی به‌ترتیب برای دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 را نشان داد (شکل ۳). به‌طوری که، عملکرد بیولوژ یک برابر با ۱۵۲۸۹ و ۱۷۰۱۱ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب برای دو سناریوی مذکور در این دوره برای منطقه اردبیل شبیه‌سازی شد.

در دوره بلندمدت ۲۰۹۹ میلادی نیز نتایج پیش‌بینی مدل نشان داد که در منطقه کرمان میزان عملکرد بیولوژ یک ۱۱۹۲۲ و ۸۶۱۱ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به‌دست آمد که نسبت به مقدار آن در شرایط کنونی (۱۳۰۸۲ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب ۸/۸۸ و ۳۲/۱۷ در صد کاهش خواهد یافت (جدول ۶ و شکل ۳). در ا ستان اردبیل میزان عملکرد شبیه سازی شده برای سناریوی RCP4.5 (۱۷۳۲۱ کیلوگرم در هکتار) به‌مقدار ۱۵/۴۰ درصد نسبت به شرایط کنونی افزایش خواهد یافت، درحالی‌که این افزایش برای سناریوی RCP8.5 ناچیز (۰/۱۷ در صد) خواهد بود (جدول ۶ و شکل ۳).

نقش مثبت افزایش CO_2 بر عملکرد بیولوژیک و حداکثر شاخص سطح برگ گندم نسبت به عملکرد دانه بیشتر مشهود بود. به‌طوری‌که، حتی در دوره بلندمدت ۲۰۹۰ نیز عملکرد بیولوژیک در منطقه اردبیل بر اساس هر دوسناریو نسبت به عملکرد کنونی افزایشی پیش‌بینی شد

و شاخص سطح برگ برای اردبیل بر اساس هر دو سناریو و برای کرمان بر اساس سناریوی RCP8.5 افزایشی شبیه‌سازی شد. از آنجایی که گندم گیاهی با مسیر فتوسنتزی C_3 می‌باشد، به نظر می‌رسد افزایش غلظت CO_2 منجر به بهبود قابل توجه سیستم فتو سنتزی آن شده (Abdelgawad et al., 2020) که از این طریق رشد و زیست‌توده گیاه را افزایش داده است. این موضوع برای اردبیل که از دمای کنونی کمتری برخوردار می‌باشد، بیشتر قابل توجه خواهد بود. نتایج تحقیقی در اردن (Dixit et al., 2018) نشان داد که زمانی که اثر توام افزایش دما و CO_2 در اقلیم مدیترانه‌ای بر عملکرد گندم مورد ارزیابی قرار گرفت، عملکرد گندم نسبت به شرایط کنونی افزایش یافت. ایشان تأکید داشتند، افزایش غلظت CO_2 باعث تعدیل اثر منفی کاهش طول دوره رشد شده و با افزایش میزان فتو سنتز، این زمان را جبران می کنند. گزارش شده است که افزایش غلظت CO_2 در اثر تغییر اقلیم نقش بسزایی در کاهش تنفس گیاه گندم داشته و از این طریق در بهبود عملکرد تأثیرگذار می‌باشد (Rashid et al., 2019).

حداکثر شاخص سطح برگ: نتایج برازش شده برای دوره ۲۰۵۵ میلادی نشان داد که تغییرات این شاخص نسبت به مقدار کنونی آن در منطقه کرمان (۴/۶۱) برای سناریوی RCP4.5 بسیار ناچیز (۰/۲۱ درصد کاهش) بوده و برای سناریوی RCP8.5 افزایش ۶/۰۷ درصدی شبیه‌سازی شد (جدول ۶ و شکل ۳). در منطقه اردبیل، میزان شبیه‌سازی شده این شاخص در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به مقدار آن در شرایط حال حاضر افزایش به‌ترتیب حدود ۰/۷۷ و ۷/۴۷ درصدی را نشان داد.

نتایج مدل سازی برای دوره بلندمدت ۲۰۹۰ نیز نشان داد که تنها حداکثر شاخص سطح برگ برای منطقه کرمان و بر اساس سناریوی RCP4.5 (۴/۳۵) نسبت به میزان آن در شرایط کنونی ۵/۶۳ در صد کاهش داد (جدول ۶ و شکل ۳). سناریوی RCP8.5 افزایش ۴/۳۴ و ۲/۱۲ درصدی را نسبت به مقادیر کنونی این شاخص به‌ترتیب در منطقه کرمان و اردبیل پیش‌بینی کرد و بر اساس سناریوی RCP4.5 در منطقه اردبیل میزان حداکثر شاخص سطح برگ (۵/۸۸) به‌مقدار ۱۳/۵۱ درصد نسبت به مقدار این شاخص در دوره کنونی (۵/۱۸) افزایش خواهد یافت.

طول دوره رشد: نتایج شبیه‌سازی این صفت تأیید می‌کند که در هر دو منطقه مورد بررسی و برا ساس هر دو سناریوی مورد استفاده میزان طول دوره رشد رقم میهن در هر دو دوره ۲۰۵۵ و ۲۰۹۰ میلادی نسبت به شرایط کنونی کاهش خواهد یافت (جدول ۶). بیشترین کاهش برای هر دو منطقه کرمان و اردبیل به‌ترتیب با مقادیر ۴/۲۷ و ۴/۵۹ درصد مربوط به سناریوی RCP8.5 و دوره بلندمدت ۲۰۹۰ میلادی خواهد بود (شکل ۳). نتایج مدل‌سازی نشان داد که طول دوره رشد رقم میهن در هر دو دوره ۲۰۵۵ و ۲۰۹۰ میلادی بر اساس هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به شرایط کنونی هم در کرمان و هم اردبیل کاهشی خواهد بود. این نشان می‌دهد که طول دوره رشد تحت تأثیر دما بوده و افزایش غلظت CO_2 تأثیر بر آن نداشته است. فوجی مورا و همکاران (Fujimura et al., 2021) تأثیر افزایش غلظت دی اکسید کربن را بر مراحل رشدی گندم مورد بررسی قرار داد و گزارش نمود که تفاوت معنی‌داری بین غلظت های مختلف دی اکسید کربن از نظر نمو مراحل فنولوژیک گندم مشاهده نشد. همچنین، اِورت و همکاران (Ewert et al., 2002) گزارش نمودند که افزایش غلظت دی اکسید کربن تأثیری بر تاریخ گل‌دهی و رسیدگی گندم کلیه مناطق مورد بررسی نداشت. کوچکی و نصیری (Koocheki & Nassiri, 2008) تأثیر تغییر اقلیم را بر عملکرد گندم آبی کشور با استفاده از مدل SUCROS و بر اساس سناریوهایی مختلف تغییر اقلیم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تأثیر افزایش غلظت دی اکسید کربن بدون گرمایش بر عملکرد گندم مثبت بود، در حالی که با افزایش میانگین روزانه اثرات غلظت دی اکسید کربن خنثی شد، به‌طوری‌که بر اساس نتایج شبیه‌سازی با افزایش میانگین دمای روزانه به‌میزان سه درجه سانتی‌گراد یا بیشتر عملکرد گندم حتی با افزایش غلظت دی اکسید کربن نیز کاهش یافت. تأیید شده است که طول دوره رشد ارتباط مثبت بالایی با عملکرد دانه دارند، لذا به نظر می‌رسد با توجه به کاهش طول دوره رشد گندم در شرایط تغییر اقلیم کاهش دریافت انرژی نورانی توسط برگ‌ها باعث کاهش عملکرد در این شرایط گردیده است (Wang et al., 2021).

گزارش شده است که بخش زیادی از کاهش عملکرد گندم در آینده به‌دلیل کاهش طول دوره فتوسنتز و مواجه شدن این گیاه با گرمای آخر فصل می باشد (Hatfield and Prueger, 2015). حساسیت عملکرد گندم به تنش دمایی مربوط به نقش افزایش دما در تسریع مراحل نمویی گندم (Akter & Rafiqul Islam, 2017)، کاهش فتوسنتز (Asseng et al., 2011) و تأثیر مستقیم بر مراحل زایشی گندم (Farooq et al., 2011) می‌باشد. دلیل کاهش تعداد دانه با افزایش دما در مرحله گل‌دهی گندم عموماً مربوط به اثر منفی دمای

بالا بر کاهش باروری دانه گرده یا عقیم شدن دانه‌ها می‌باشد (Eyshi Rezaei et al., 2015). یک رابطه منفی بین وجود دماهای بالا در مرحله زایشی گندم و کاهش تعداد دانه در سنبله تأیید شده است (Barnabás et al., 2008) که تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نهایی دانه دارد. از طرف دیگر، زمان و سرعت پر شدن دانه یکی از کلیدی‌ترین فاکتورهای تعیین عملکرد نهایی دانه بوده (Ortiz et al., 2018) که به‌شدت تحت تأثیر دما می‌باشد. به‌دلیل تأثیر منفی تنش دمایی بر میزان فتوسنتز گیاه، عملکرد دانه گندم به‌شدت حساس به دماهای بالا در زمان رشد زایشی می‌باشد (Khatun et al., 2015).

حسام عارفی و همکاران (Hesam Arefi et al., 2017) نیز با شبیه سازی اثرات تغییرات اقلیمی بر عملکرد ارقام مختلف گندم گزارش نمودند که در یک دوره بلندمدت افزایش دما نسبت به افزایش غلظت CO_2 تأثیر بیشتری بر رشد و عملکرد گندم دارد و اظهار داشتند که از آنجا که آستانه دمای حداکثر برای گندم ۳۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Eyshi Rezaei et al., 2015)، با افزایش دما به بالاتر از این میزان در مرحله رشد زایشی، عملکرد دانه گندم به شدت کاهش می‌یابد. نتایج شبیه سازی توسط حسام‌عارفی و همکاران (Hesam Arefi et al., 2017) نشان داد که تعداد روزهای گرم با دمای بیشینه بالاتر از ۳۱ درجه سانتی‌گراد در طول مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه بر اساس مدل های گردش عمومی و سناریوهای مورد استفاده با گذشت زمان افزایش خواهد یافت. این موضوع باعث کاهش عملکرد دانه گندم تحت تأثیر تغییرات اقلیمی به‌خصوص سناریوی A2 که بیشترین میزان افزایش دما را شامل می شود، شد. ژنگ و همکاران (Zhang et al., 2016) نیز دریافتند که در آینده اکثر مناطقی از استرالیا که روی کمربند کشت گندم قرار دارند، گرم تر خواهند شد و اولین روز با دمای بالاتر از دمای آستانه گندم بین چهار تا ۱۴ روز زودتر ظاهر خواهد شد که این موضوع بدون شک عملکرد گندم در این مناطق را کاهش قابل توجهی خواهد داد. از طرفی، شبیه‌سازی دوره رشد گندم به‌وسیله چاتارج و همکاران (Chattaraj et al., 2014) براساس مدل های گردش عمومی تحت تأثیر سناریوهای مختلف نشان داد که یک کاهش قابل توجه به‌میزان ۶-۸ روز تا سال ۲۰۲۰ و ۲۱-۱۱ روز تا سال ۲۰۵۰ میلادی در طول دوره رشد گندم زمستانه اتفاق خواهد افتاد. ایشان گزارش کردند که این کاهش به‌دلیل افزایش توأم دمای حداقل و حداکثر روزانه در اثر تغییرات اقلیمی می‌باشد که منجر به افزایش درجه روز رشد (GDD) در یک دوره مشخص می‌شود. بنابراین، تعداد روز مورد نیاز برای تأمین این GDD کاهش خواهد یافت و مراحل فنولوژیک زودتر ظاهر خواهند شد. یین و همکاران (Yin et al., 2009) نیز گزارش کردند که افزایش ۵ درجه سانتیگراد دما در دمای بالای ۲۰ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش ۱۲ روزه دوره پر شدن دانه گندم خواهد شد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که به‌دلیل پایین‌تر بودن دمای کنونی منطقه اردبیل نسبت به کرمان، در آینده کشت و کار گندم رقم میهن در منطقه کرمان نسبت به اردبیل بیشتر مورد تهدید تغییر اقلیم و گرمایش جهانی می باشد. رقم میهن گندم جزو ارقام زودرس می‌باشد و مطمئنا اثرات منفی تغییر اقلیم برای ارقام قدیمی و دیررس گندم سخت‌تر خواهد بود. در دوره کوتاه‌مدت ۲۰۵۵ منطقه اردبیل تحت تأثیر هیچ کدام از دو سناریوی مورد بررسی کاهش عملکرد نخواهد داشت و این نشان می دهد، نقش تغذیه‌ای CO_2 بیشتر از تأثیر منفی افزایش دما برای این منطقه می‌باشد. چرا که، اردبیل منطقه‌ای با اقلیم سرد می‌باشد و افزایش کم دما اثر منفی بر تولید گندم در این منطقه ندارد. در منطقه کرمان، ولی در همین دوره نزدیک نیز عملکرد گندم تهدید می شود. در دوره بلندمدت ۲۰۹۰ نیز عملکرد گندم در هر دو منطقه کاهش خواهد یافت و باید استراتژی های سازگاری گندم از قبیل تغییر تاریخ کاشت، تغییر در مقدار و دور آبیاری، استفاده از ارقام مختلف، کاربرد مواد آلی در خاک و غیره برای این شرایط سنجیده شود.

سپاسگزاری

هزینه این پژوهش توسط معاونت پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان تأمین شده است. بدینوسیله نویسندگان از مساعدت‌های این مرکز سپاسگزاری می‌کنند.

References

Abdelgawad, H., Hassan, Y.M., Alotaibi, M.O., Mohammed, A.E., & Saleh, A.M. (2020). C_3 and C_4 plant systems respond differently to the concurrent challenges of mercuric oxide nanoparticles and future climate CO_2. *Science of*

the Total Environment, *749*, 142356. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142356.
Adavi, Z., Moradi, R., Saeidnejad, A.H., Tadayon, M.R., & Mansouri, H. (2018). Assessment of potato response to climate change and adaptation strategies. *Scientia Horticulturae. 228*, 91–102. doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.017.
Akter, N., & Rafiqul Islam, M. (2017). Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *37*, 37-42. doi.org/10.1007/s13593-017-0443-9 .
Aminzadeh, G., Ghasemi, M., & Shahalinajad, S. (2015). The Bread Wheat "Mihan" Cultivar Suitable for Cultivation in Ardabil Province Cold Regions. Project report of Ministry of Agriculture Jihad Agricultural Research, Education and Extension Organization Ardabil Agriculture and Natural Resources Research and Education Centre. (In Persian)
Anonymous. (2020). How does MarkSim work? http://gisweb.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/docs/doc.html. (visited at March 2021).
Asseng, S., Foster, I.A.N., & Turner, N.C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, *17*, 997–1012. doi.org/10.1038/s41467-020-18317-8.
Babaeian, I., Modirian, R., Karimian, M., & Zarghami, M. (2015). Simulation of climate change in Iran during 2071-2100 using PRECIS regional climate modeling system. *Desert*, *20(2)*, 123-134. doi.org/10.22059/jdesert.2015.56476.
Barnabás, B., Jäger, K., & Fehér, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*, 31, 11–38. doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x.
Chattaraj, S., Chakraborty, D., Sehgal, V.K., Paul, R.K., Singh, S.D., Daripa, A., & Pathak, H. (2014). Predicting the impact of climate change on water requirement of wheat in the semi-arid Indo-Gangetic Plains of India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *197*, 174–183. doi.org/10.3390/w14172728.
Dastorani, M.T., & Poormohammadi, S. (2016). Mapping of climatic parameters under climate change impacts in Iran. *Hydrological Sciences Journa,l*. 61, 2552-2566. doi.org/10.1080/02626667.2015.1131898.
De Wit, A.J.W., Dabrowska-Zielinska, K., & Van Diepen, C.A. (2008). Modern methods in crop yield forecasting and crop area estimation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *10*, 401-498. doi.org/10.1016/j.jag.2008.03.001.
Dixit, P.N., Telleria R., Al Khatib, A.N., & Allouzi, S.F. (2018). Decadal analysis of impact of future climate on wheat production in dry Mediterranean environment: A case of Jordan. *Science of the Total Environment*, *610–611*, 219–233. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.270.
Ebadinezhad, J., Shahryari, R., & Ghasemi, M. (2014). Comparison grain yield and yield components on eight winter wheat varieties and lines in Ardabil cold areas. 13th Iranian Crop Science Congress. Seed and plant Improvement Institute, Karaj, Iran. pp. 1-4. (In Persian)
Ewert, F., Rodriguez, D., Jamieson, P., Semenov, M.A., Mitchell, R.A.C., Goudriaan, J., Porter, J.R., Kimball, B.A., Pinter Jr, P.J., Manderscheid, R., Weigel, H.J., Fangmeier, A., Fereres, E., & Villalobos, F. (2002). Effects of elevated CO_2 and drought on wheat: Testing crop simulation models for different experimental and climatic conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *93*, 249–266. doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00352-8.
Eyshi Rezaei, E., Webber, H., Gaiser, T., Naab, J., & Ewert, F. (2015). Heat stress in cereals: Mechanisms and modeling. *European Journal of Agronomy*, *64*, 98-113. doi.org/10.1016/j.eja.2014.10.003.
FAO. (2020. World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020. Rome. doi.org/10.4060/cb1329en.
Farooq, M., Bramley, H., Palta, J.A., & Siddique, K.H. (2011). Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *30*, 491–507. doi.org/10.1080/07352689.2011.615687.
Fouial, A., Khadra, R., Daccache, A., & Lamaddalena, N. (2016). Modeling the impact of climate change on pressurised irrigation distribution systems: use of a new tool for adaptation strategy implementation. *Biosystems Engineering*, *150*, 182–190. doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.08.010.
Fujimura, S., Shi, P., Iwama, K., Zhang, X., Gopal, J., & Jitsuyama, Y. (2021). Effects of CO_2 increase on wheat growth and yield under different atmospheric pressures and their interaction with temperature. *Plant Production Science*, *15*, 118-124. doi.org/10.1626/pps.15.118.
Ghasemi, M. (2017). Introduction of new cultivars and technical recommendations for autumn cereal cultivation in cold regions of Ardabil province. Project report of Seed and plant Improvement Institute of Ardebil. (In Persian).
Hatfield, J.L., & Prueger, J.H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, *10*, 4-10. doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001.
Hesam Arefi, I., Saffari, M., & Moradi, R., (2017). Evaluating planting date and variety management strategies for adapting winter wheat to climate change impacts in arid regions. *International Journal of Climate Change Strategies*

and Management, *9*, 846-863. doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2017-0030.

Hesam Arefi, I., Saffari, M., & Moradi, R. (2018). Gap analysis of wheat production and influencing factors in Kerman province. *Journal of Agroecology, 8(1),* 106-123. (In Persian with English Summary). doi.org/10.1016/j.ae.2018.10.003.

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., & Ritchie, J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, *18*, 235-265. doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7.

Khatun, S., Ahmed, J.U., & Mohi-Ud-Din, M. (2015). Variation of wheat cultivars in their relationship between seed reserve utilization and leaf temperature under elevated temperature. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, *18*, 97–101. doi.org/10.1007/s12892-014-0117-y.

Koocheki, A., Nassiri Mahalati, M. (2008). Impacts of climate change and CO_2 concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *6*, 139-154. (In Persian with English Summary)

Li, C., Wang, R., Ning, H., & Luo, Q. (2016). Changes in climate extremes and their impact on wheat yield in Tianshan Mountains region, northwest China. *Environmental Earth Sciences*, *75*, 1228. doi.org/10.1007/s12665-016-6030-6.

Luo, Qunying, OLeary, G., Cleverly, J., & Eamus, D. (2018). Effectiveness of time of sowing and cultivar choice for managing climate change: Wheat crop phenology and water use efficiency. *International Journal of Biometeorology*, *62*, 1049–1061. doi.org/10.1007/s00484-018-1508-4.

Mathukumalli, S.R., Dammu, M., Sengottaiyan, V., Ongolu, S., Biradar, A.K., Kondru, V.R., Karlapudi, S., Bellapukonda, M.K.R., Chitiprolu, R.R.A., & Cherukumalli, S.R. (2016). Prediction of Helicoverpa armigera Hubner on pigeonpea during future climate change periods using MarkSim multimodel data. *Agricultural and Forest Meteorology*, *228–229*, 130–138. doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.009.

Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K., Daniel, J.S., Kainuma, M.L.T., Lamarque, J.F., Matsumoto, K., Montzka, S.A., Raper, S.C.B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G.J.M., & van Vuuren, D.P.P. (2013). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, *109*, 156-169. doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z.

Moradi, R., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2014). Adaptation of maize to climate change impacts in Iran. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *19*, 1223–1238. doi.org/10.1007/s11027-013-9470-2.

Moradi, R., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Mansoori, H. (2013). Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: Irrigation and planting date management. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *18*, 265–284. doi.org/10.1007/s11027-012-9410-6.

Mousavi, A., Ardalan, A., Takian, A., Ostadtaghizadeh, A., Naddafi, K., Bavani, A.M., (2020). Climate change and health in Iran: a narrative review. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, *18*, 367–378. doi.org/10.1007/s40201-020-00462-3.

Nouri, M., Homaee, M., Bannayan, M., & Hoogenboom, G. (2016). Towards modeling soil texture-specific sensitivity of wheat yield and water balance to climatic changes. *Agricultural Water Management*, *177*, 248–263. doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.025.

Nouri, M., Homaee, M., Bannayan, M., & Hoogenboom, G. (2017). Towards shifting planting date as an adaptation practice for rainfed wheat response to climate change. *Agricultural Water Management*, *186*, 108-119. doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.004.

Ortiz, R., Sayre, K.D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G.V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J.M., Iván Ortiz-Monasterio, J., & Reynolds, M. (2018). Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *126*, 46–58. doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.019.

Ozkan, B., & Akcaoz, H. (2002). Impacts of climate factors on yields for selected crops in southern Turkey. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *7*, 367–380. doi.org/10.1023/A:1024792318063.

Rahimi, J., Laux, P., & Khalili, A. (2020). Assessment of climate change over Iran: CMIP5 results and their presentation in terms of Köppen–Geiger climate zones. *Theoretical and Applied Climatology*, *141*, 183–199. doi.org/10.1007/s00704-020-03190-8.

Rashid, M.A., Jabloun, M., Andersen, M.N., Zhang, X., Olesen, J.E. (2019). Climate change is expected to increase yield and water use efficiency of wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, *222* 193–203. doi.org/10.1016/j.agwat.2019.06.004.

Roshan, G., Oji, R., & Al-Yahyai, S. (2014). Impact of climate change on the wheat-growing season over Iran. *Arabian*

Journal of Geosciences, *7*, 3217–3226. doi.org/10.1007/s12517-013-0917-2.

Sha, J., Li, X., & Wang, Z.L. (2019). Estimation of future climate change in cold weather areas with the LARS-WG model under CMIP5 scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, *137*, 3027–3039. doi.org/10.1007/s00704-019-02781-4.

Shirsath, P.B., Aggarwal, P.K., Thornton, P.K., & Dunnett, A. (2017). Prioritizing climate-smart agricultural land use options at a regional scale. *Agricultural Systems*, *151*, 174–183. doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.018.

Shrestha, S., Bach, T.V., & Pandey, V.P. (2016). Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Environmental Science and Policy*, *61*, 1–13. doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.018.

Yin X., Guo W., & Spiertz J. H. (2009). A quantitative approach to characterize sink–source relationships during grain filling in contrasting wheat genotypes. *Field Crops Research*, *114*, 119-126. doi.org/10.1016/j.fcr.2009.07.013.

Wang X., Li, L., Ding, Y., Xu, J., Wang, Y., Zhu, Y., Wang, X., & Cai, H. (2021). Adaptation of winter wheat varieties and irrigation patterns under future climate change conditions in Northern China. *Agricultural Water Management*, *243*, 106409. doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106409.

Yazdani, M.H., Amininia, K., Safarianzengir, V., & Soltani, N. (2021). Analyzing climate change and its effects on drought and water scarcity (Case study: Ardabil, Northwestern Province of Iran, Iran). *Sustainable Water Resources Management*, *7*, 16-31. doi.org/10.1007/s40899-021-00494-z.

Yazdansepas, A., Akbari, A., Sanjari, A.G., Rezaie, M., Chiychi, M., Babaie, T., Aminzadeh, G., Zareh Fayzabadi, A., Azzatahmadi, M., & Ashouri, S. (2011). Mihan, a new bread wheat cultivar for irrigated and post-anthesis drought stress conditions in cold regions of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, *37*, 631-634. (In Persian with English Summary).

Zare Feyz Abadi, A., Koocheki, A., & Nassiri Mahalati, M. (2006). Trend analysis of yield, production and cultivated area of cereal in Iran during the last 50 years and prediction of future situation. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *4*, 49-70. doi.org/10.22067/gsc.v4i1.1318.

Zhang, X., Wang, X., Zhong, J., Zhou, Q., Wang, X., Cai, J., Dai, T., Cao, W., & Jiang, D. (2016). Drought priming induces thermo-tolerance to post-anthesis high-temperature in offspring of winter wheat. *Environmental and Experimental Botany*, *127*, 26–36. doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.03.004.